

• 生产实践

双相不锈钢切削加工工艺探索

王培源, 张 贵

(经纬纺织机械股份有限公司 榆次分公司, 山西 晋中 030601)

摘要:为了解决切削加工用 PH13-8Mo 高强度不锈钢与其它不锈钢制成的特种双相不锈钢材料纺机零件切削时存在难度大、刀具磨损严重的问题,从机加工难点及刀具磨损形式、机加工理论进行分析,结合切削加工中影响刀具寿命的因素进行研究,并对国内外的多种类型铣刀进行试验对比。指出,加工硬度高、隔热性好的双相不锈钢零件时,应选用正前角快进给铣刀,要有足够的冷却液,以内冷却为宜;PVD 刀片性能优于 CVD 刀片,WSM35 材质刀片优于 WSP45 材质刀片,纺机零件切削加工过程中,应根据材料特点及产品要求,应用不同的加工刀具配套合理的刀片采用最佳的加工方法,有效提高此种材料的机械加工性能。

关键词:0Cr13Ni8Mo2Al; PH13-8Mo; 瓦尔特; 快进给铣刀; 双相不锈钢; 切削

中图分类号:TS103

文献标志码:B

文章编号:1001-9634(2015)01-0016-03

Probing into the Cutting Process of Double Phased Stainless Steel

WANG Peiyuan, ZHANG Gui

(Jingwei Textile Machinery Co., Ltd. Yuci Branch, Jinzhong 030601, China)

Abstract: In order to solve the problem with textile parts made of high strength double phased stainless steel PH13-8Mo and other stainless steel such as hard machining of parts and easy abrasion of tool, probing is done into the machining theory, together with the research of the influence factors of the service life of cutting tool, and a variety of types of milling cutter at home and abroad is compared tested. It is pointed out that the processing of high hardness, good heat insulation double phase stainless steel parts, should use positive rake angle fast forward to the mill, to have enough coolant, within the cooling is appropriate; PVD blade performance is better than that of CVD blade, WSM35 material is better than that of WSP45 blade material, textile machinery parts machining process, should be based on the material characteristics and the product requirements, the application of different machining tool supporting reasonable blade adopts the optimum processing method, effectively improve the machining performance of the material.

Key Words: 0Cr13Ni8Mo2Al; PH13-8Mo; Walter; fast forward to the milling cutter; duplex stainless steel; cutting

PH13-8Mo 钢是一种采用双真空冶炼的高强度马氏体沉淀硬化不锈钢,其材料为 0Cr13Ni8Mo2Al,此钢的突出特点是强度高,断裂韧性优良,具有良好

的横向力学性能和在复杂环境中耐应力腐蚀性能。实际生产中为了得到更高的抗腐蚀性能和较好的耐高温性能,常将 PH13-8Mo 不锈钢与其它不锈钢一同制成双相不锈钢。由于这种双相不锈钢综合性能良好,已被广泛应用于机加工紧固件、飞机部件、核能部件以及石油、化工装备等各种领域。纺机产品中的部分关键件也采用此类材料,笔者旨在对双相

收稿日期:2014-04-05

作者简介:王培源(1974—),男,上海人,工程师,主要从事企业信息化(PDM/CAPP/CAM)和工业工程管理工作。

不锈钢在纺机类产品机加工工艺中遇到的问题进行研究,对出现问题的解决方法进行探讨。

1 双相不锈钢的加工难点

PH13-8Mo 双相不锈钢材料横向力学性能及抗断裂韧性好,导致在材料粗加工去除余量时粘性大,极容易与刀片刀尖产生积屑;由于其导热性能差而隔热性能良好,在航空石油等领域被广泛使用,然而在机加工过程中因导热性差、加工热无法被铁屑带走而且过多的集中在刀刃上,使刀片磨损过快。

我们采用进口刀具按照常规铣削方法加工 700 mm×160 mm×60 mm 毛坯件时,粗加工余量约为 11 000 cm³,加工时间约为 4 h,耗费刀片约为 40 片(每个刀片 4 个刀刃);当改为电火花切割时,则因加工时间长、成本高而难以承受,只能采用机加工方法。

2 刀具磨损形式分析

加工 PH13-8Mo 双相不锈钢时,常见的刀具失效形式有刀面积屑瘤、崩刃和热裂纹 3 种。在保证刀具一定寿命的情况下,热裂纹失效形式为最佳情况,而积屑瘤和崩刃均属于不正常失效形式。

在加工过程中,由于刀具切削不轻快则导致摩擦升温,使工件材料的微粒黏附在刀片上形成积屑瘤,如图 1 所示。当积屑瘤脱落时,同时会造成刀刃局部破损形成崩刃,如图 2 所示。

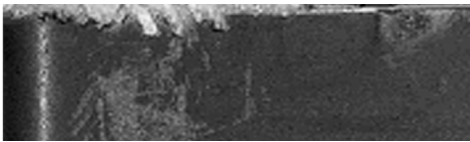


图 1 刀具积屑瘤

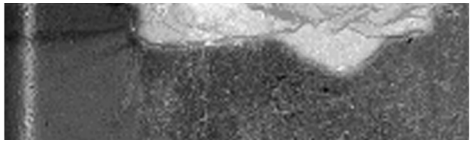


图 2 刀具崩刃

由于加工区域温度变化大,尤其是在断续切削时,会在刀刃上出现现象梳子一样的裂纹,热裂纹形态如图 3 所示。



图 3 刀具热裂纹

3 机加工理论分析

3.1 材料导热性

从理论上分析,切削时铁屑带走热量最多的是 fz 的上、下两个面,当材料导热性能好时,热量瞬间可以从 fz 表面向内部传导,从而带走大部分机加工热量;当材料的导热性能差时,由于热量只保存在 fz 的两个面,所以铁屑带走的热量相同,而铁屑的体积却不同,在带走相同热量的情况下,5 号铁屑体积最小,如图 4 所示。同理,反之在相同铁屑体积的情况下,5 号铁屑带走的热量最多。

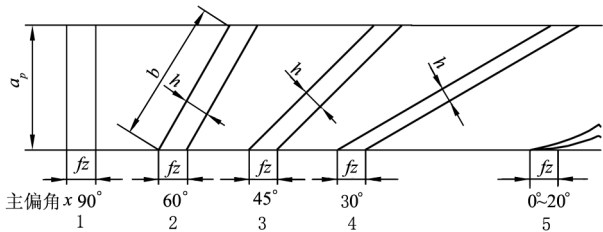
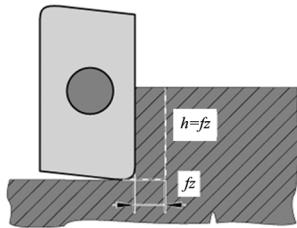


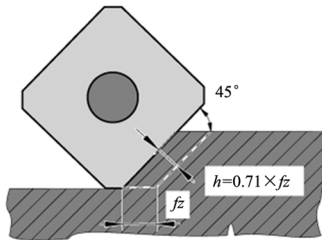
图 4 铁屑体积与热量关系

3.2 刀具选用

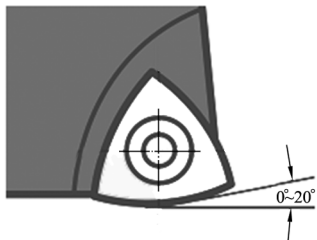
对图 4 分析可知,因主偏角最小的铣刀所产生的薄形铁屑带走的热量最多,所以我们选用主偏角为 0°~20°的瓦尔特快进给铣刀,如图 5 所示。



a) 90°铣刀



b) 45°铣刀



c) 0°~20°快进给铣刀

图 5 不同主偏角铣刀示意

3.3 刀片表面处理

化学气相沉积(简称 CVD),是反应物质在气态条件下发生化学反应,生成固态物质沉积在加热的固态基体表面,进而制得固体材料的工艺技术。CVD 系统中的化学反应有还原、氧化、水解、热解等,是在低压 CVD 反应器中实现的,是一种不均匀的多相反应。

物理气相沉积(简称 PVD),是利用物理过程实现物质转移,将原子或分子由源转移到基材表面上的过程,一般有真空中蒸发沉积、溅射、离子镀 3 种将固态镀层材料气化的方法。由于 PVD 工艺温度低,不会降低硬质合金刀片自身的强度,刀片刃部可磨得十分锋利,从而降低机床的功率消耗。

因此加工 PH13-8Mo 双相不锈钢时要采用较为锋利的刀片,所以我们选择 TiAlN 和 Al₂O₃ 组成的 PVD 多层涂层 WSM35 和 WSP45 材质的刀片。

4 机加工现场情况分析

4.1 影响刀具寿命的主要因素

4.1.1 工件线速度

线速度对刀片寿命的影响最大。如线速度高于规定 20%,刀具寿命将降低为原来的 1/2;如线速度高于 50%,刀具寿命将降低为原来的 1/5。工件线速度在粗加工和精加工时的参数应不同,因为粗加工以去余量为主,故线速度要低;精加工以保证尺寸精度和表面粗糙度为主,其线速度应高。

4.1.2 切深

切深对刀具寿命的影响仅次于线速度,每种槽型都有一个比较大的切削范围。粗加工时,切深尽量加大,以保证最大的余量去除率;精加工时,切深尽量减小,以保证工件的尺寸精度和表面质量。通常切深不能大于槽型的切削范围,切深过大则刀具无法承受切削力,会导致刀具崩刃;切深过小时刀具只是刮削和挤压工件表面,会导致后刀面严重磨损,从而降低刀具寿命。

4.1.3 进给

相比较线速度和切深,进给对刀具寿命的影响最小,但对工件的表面质量影响最大。粗加工时,加大进给可以提高余量的去除率;精加工时,降低进给可以提高工件的表面粗糙度;在保证表面粗糙度要求的情况下,可以尽量加大进给,提高加工效率。

4.2 不同刀具试验对比分析

在现场试验时,美国、瑞典、以色列和国内多家刀具供应商,采用玉米铣、90°铣刀、快进给铣刀等多

种铣刀进行试验,加工效果均不理想。我们采用德国制造的瓦尔特 90°铣刀和快进给铣刀进行试验,达到了满意的效果。试验加工参数及结果分别见表 1、表 2。

表 1 加工参数推荐

项目	Vc/ (m·min ⁻¹)	N/ (r·min ⁻¹)	Fz/ mm	Ae/ mm	Ap/ mm
90°铣刀	60~100	250~400	0.1~0.2	40	3~6
玉米铣	60~80	250~450	0.1~0.2	5	35~40
快进给铣刀	60~80	250~400	0.5~1.0	55	1

表 2 加工结果对比

产地	刀具类型	刀齿数/个	刀刃数	加工时间/min	刀刃失效形式
美国	90°铣刀	6	2	20	崩刃
瑞典	90°铣刀	5	2	12	崩刃
德国 WSM35 刀片	快进给铣刀	5	6	120	热裂纹
瑞典	玉米铣	20	4	3	崩刃
以色列	玉米铣	24	2	40	崩刃
日本	快进给铣刀	5	4	30	热裂纹
德国 WSP45 刀片	快进给铣刀	5	6	90	热裂纹

注:刀齿数为每把刀上的刀片数;刀刃数为每个刀片上的刀刃数;加工时间指一个刀刃连续加工的时间。

由表 2 数据可得出两个结论:一是 PH13-8Mo 双相不锈钢使用快进给铣刀是最佳的选择;二是采用德国进口刀片加工效果更胜一筹。通过此次试验,我们采用 2 片德国瓦尔特刀片就能完成以前需消耗 40 片进口刀片才能完成的加工量,大大提高了工作效率,降低了生产成本。

5 结论

5.1 加工强度高、隔热性能好的双相不锈钢零件时,由于材料导热性能差,以铁屑尽量小、薄为佳,使同等体积铁屑接触空气面最大以带走更多的热量,从而减少残留在刀刃上的热量,提高了刀片使用寿命,为此应选用正前角的快进给铣刀。

5.2 由于 PH13-8Mo 双相不锈钢优良的断裂韧性及良好的横向力学性能,在机加工中黏性较强,所以在切削加工时要有足够的冷却液,且最好是内冷却,对切削液浓度也要有一定的要求。

5.3 加工此类材料时,应用 PVD 刀片性能优于 CVD 刀片,WSM35 材质刀片优于 WSP45 材质刀片。无论是何种难以加工的材料,只要选对刀具和合理的加工参数,问题就一定能够迎刃而解。

$(2 \pm 0.5) \text{ cN}$ 。

3.2 丝条转子式加弹工艺参数

3.2.1 加弹(假捻)捻度

选用瑞士海勃林公司提出的假捻数公式^{[4]197}：

$$T = \alpha \times \frac{32\ 500}{\sqrt{D}} (\text{T/m})$$

式中：

α ——捻系数，一般选用 $0.80 \sim 1.00$ ；

D ——长丝纤度，单位为丹尼尔。

$20D$ 捻度带入公式为： $T = 5\ 813.7\ \text{T/m} \sim 7\ 267.2\ \text{T/m}$ ，实际选择为 $6\ 000\ \text{T/m}$ ，效果尤佳（兼顾效率）。

3.2.2 丝条加捻张力

丝条加捻张力应略大于热定型张力，工艺要求为 $0.08\ \text{cN/D} \sim 0.11\ \text{cN/D}$ ，实际为 $(2.5 \pm 0.5) \text{ cN}$ 。可以通过调节送丝张力和第 1、第 2 同轴双超喂率调节。

3.2.3 丝条解捻张力

工艺要求加捻张力为 2.0 倍 ~ 3.5 倍，实际张力为 $(6.5 \pm 0.5) \text{ cN}$ 。

3.3 加弹丝条网络工艺参数

3.3.1 网络器喷嘴直径

工艺要求为 $\phi 0.8\ \text{mm}$ ，如果选用 $\phi 0.5\ \text{mm}$ 或 $\phi 0.6\ \text{mm}$ 效果会更好（市场上很少）。

3.3.2 丝条与网络器丝道角度

通过实践证明，丝条与网络器丝道成一定的角度进出，有利于丝条网络的形成，也有利于提高丝条的网络度。K5118 型丝条与网络器丝道的角度约为 $10^\circ \pm 2^\circ$ 。

3.3.3 丝条经网络器张力

工艺范围为 $0.01\ \text{cN/D} \sim 0.2\ \text{cN/D}$ ，实际选用不大于 $1\ \text{cN}$ （张力仪显示精度只有 $1\ \text{cN}$ ）。

3.3.4 网络器压缩空气压力

网络器压缩空气，工艺为 $0.08\ \text{MPa} \sim 0.15\ \text{MPa}$ ，

实际压力为 $0.1\ \text{MPa}$ 。

3.3.5 网络度

网络度是指长丝和加弹丝上网络点的多少。丝条张力越大，丝条网络度越小；压缩空气压力越大、网络度越大。K5118 型网络度为 $90\ \text{个/m} \sim 100\ \text{个/m}$ ，控制丝条张力和压缩空气压力是控制网络度最有效、最快捷的方法^{[4]276-278}。

4 结语

4.1 低纤涤纶长丝 FDY20D24f 的加弹网络一步法工艺目前仍是空白，经加弹网络的低纤涤纶长丝丝束平滑、富有弹性和规律的网络风格，布料柔软、透气、略有弹性，市场潜力很大。

4.2 K5118 型加弹网络机主要针对 FDY20D24f 低纤度的涤纶化纤长丝，但由于技术能力制约，采用最高转速只有 $20\ \text{kr/min}$ 的转子式假捻器，目前市场上最小的网络喷嘴孔径只有 $\phi 0.8\ \text{mm}$ ，耗气成本较高。因此，生产效率严重制约了其发展，如果在低纤加弹领域有更好的假捻器与之匹配（例如袖珍型的摩擦式假捻器），则化纤纺织领域将会得到进一步拓展。

4.3 文中加弹网络工艺参数仅为 FDY20D24f 丝条在无锡宏大纺织机械专件有限公司提供的 K5118 型加弹网络机上实地试验获取，部分参数与理论工艺参数略有出入，欢迎探讨指正。

参考文献：

- [1] 无锡宏大纺织机械专件有限公司. K5118 型数控一步法加弹网络丝机技术协议[Z].
- [2] 姜怀. 纺织材料学[M]. 上海：东华大学出版社，2009.
- [3] 王显楼，余荣华. 高速纺丝拉伸变形工艺与设备[M]. 北京：纺织工业出版社，1992.
- [4] 蔡栋才，辜昌基，董义强. 涤纶后加工[M]. 北京：纺织工业出版社，1991.

（上接第 18 页）

参考文献：

- [1] 卞荣，李亮，何宁，等. 低温微量润滑高速铣削 PH13-8Mo 刀具磨损试验研究[J]. 工具技术. 2009, 43(7): 14-17.

- [2] 王臣，赵坤. 不锈钢的机械加工特性和方法探讨[J]. 装备制造技术，2011(6): 193-194.
- [3] 周海军，宗永. 1Cr18Ni9 不锈钢丝耐腐蚀性能检测方法探讨[J]. 金属制品，2011, 37(4): 79-81.
- [4] 郑铁闯. 不锈钢的机械加工方法探讨[J]. 科技创新导报，2010(36): 74.